

MANUTENÇÃO PREDITIVA VOLTADA A ANÁLISE DE VIBRAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

Mateus Amorim Vieira¹, Robson Gomes Souza¹, André Aparecido Leal de Almeida^{2,6}; Luan Este-
vam Francisco^{3,6}; Lucas Nuud Táparo^{4,6}; Thiago Raniel^{5,6*}

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Faculdade Integradas de Três Lagoas – AEMS, ² Esp. em Segu-
rança Cibernética – IGTI; ³ Graduação em Sistemas para Internet – IFMS; ⁴ Esp. em Engenharia de
Dados – UNOPAR; ⁵ Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP; ⁶ Docente das faculdades integradas de
Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: thiago.raniel@gmail.com

RESUMO

Em equipamentos elétricos, como motores, é de suma importância que a sua disponibilidade e eficiên-
cia seja garantida, isso se deve ao fato de que alguns conjuntos motor-bombas não podem ter paradas
repentinas, uma vez que isso pode gerar prejuízos além de comprometer a segurança de profissionais
que atuam na área, na qual esses conjuntos estão instalados. A análise de vibração é um ramo da
manutenção preditiva que tem como objetivo auxiliar e identificar alguns dos principais problemas nes-
ses equipamentos, como vibração em rolamentos, excesso de temperatura, folga nos elementos, entre
outros problemas. A identificação desses problemas permite que seja feito um acompanhamento, com
o objetivo de se utilizar o máximo possível os motores, além de possibilitar que a parada do mesmo
seja programada, tendo assim uma manutenção mais barata, efetiva e garantindo uma perda menor de
produção decorrente da parada.

PALAVRAS-CHAVE: vibrações; análises; manutenção; motores.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas elétricas rotativas são divididas de acordo com sua funcionalidade, em motor ou gerador. Resumida-
mente, o motor é quando há a conversão de energia elétrica em energia mecânica, utilizada para gerar algum tipo de
movimento, em contrapartida, o gerador transforma a energia mecânica em elé-
trica (SANTOS, 2022).

Os motores elétricos são classifica-
dos conforme sua excitação em corrente
contínua (CC) ou corrente alternada
(CA). Os princípios de operação dos dois
tipos é o mesmo, o que difere um do

outro é apenas os aspectos construtivos,
mas os conceitos físicos são similares. A
lei de Faraday define o funcionamento
dos motores elétricos e expressa que a
variação no fluxo do campo magnético
através de materiais condutores induz a
geração de uma corrente elétrica
(SANTOS, 2022).

Entre os diversos tipos de motores
elétricos, o motor de indução trifásico se
destaca pelo modo de funcionamento
simples, baixa necessidade de manuten-
ção e rendimento satisfatório. Tem
grande aplicabilidade nas indústrias,
dentre as principais estão as de segmen-
tos de siderurgias, petroquímicas e em

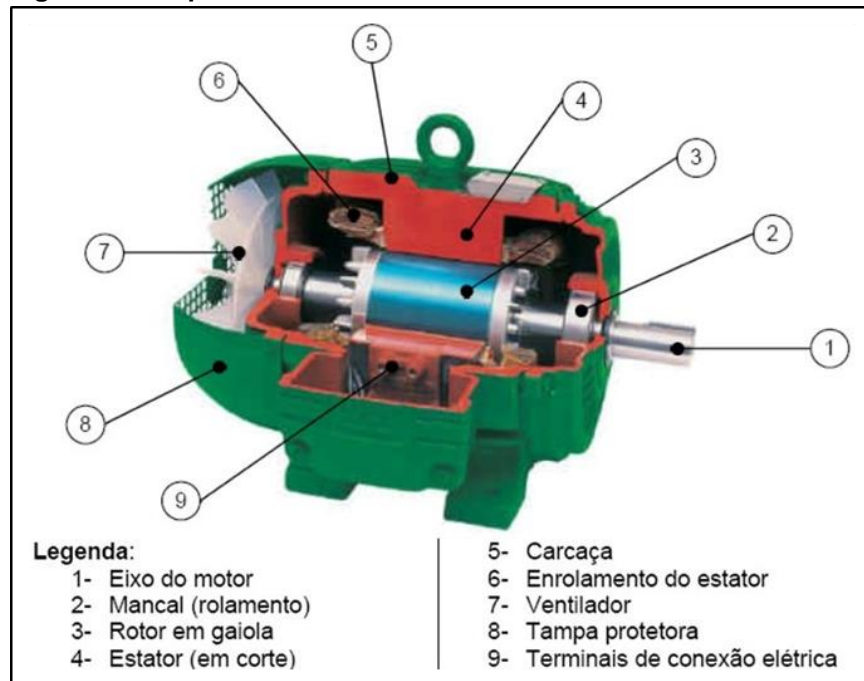
usinas de geração de energia elétrica (MATTEDE, 2018).

O motor elétrico é uma máquina elétrica que apresenta várias partes mecânicas (Figura 1), sendo que as duas principais são o rotor (Figura 1.3) e o estator (Figura 1.4). O rotor é a parte móvel fixado em um eixo e a que gira enquanto o estator, a parte fixa do motor, é o local onde é feito o enrolamento das bobinas que geram o campo magnético que é responsável pelo giro do motor (MATTEDE, 2018).

A carcaça (Figura 1.5) é a parte do motor usada para prender o estator e o

mancal, internamente apresenta aletas que têm a finalidade de dissipar a temperatura gerada no interior do motor. O ventilador (Figura 1.7) é uma hélice instalada no rotor; conforme acontece a rotação, gira também com a finalidade de diminuir a temperatura no motor. A tampa de proteção (Figura 1.8) é usada contra toque na hélice, isso evita que muitos acidentes aconteçam, além disso, o espaço entre a hélice e a tampa de proteção tem um projeto focado em direcionar o vento gerado pela hélice para as aletas, o que contribui na diminuição da temperatura (MATTEDE, 2018).

Figura 1. Componentes do motor elétrico.



Fonte: Extraído de Mattede, 2018.

Toda máquina elétrica emite vibrações originais de fábrica. Essas são oscilações de um corpo em relação ao seu ponto de equilíbrio. Um ponto importante a se destacar em relação à vibração é a frequência de um movimento vibratório (número de oscilações completas) por intervalo de tempo (ciclos/segundos) ou Hertz (Hz) (CISMASIU, 2009).

O monitoramento da vibração e diagnóstico dos componentes de um motor elétrico em uso constante permite analisar os defeitos de forma prévia para

se diminuir custos e aumentar disponibilidade do equipamento, uma vez que, normalmente, os problemas em máquinas elétricas estão relacionados a defeitos de projetos, erros na instalação, tempo de utilização elevado e excesso de vibração (CYRINO, 2017). Deste modo, faz-se necessária a manutenção preditiva constantemente.

1.1 Vibrações nos motores

A vibração em equipamentos pode se originar por vários motivos, como

folgas e faltas de rigidez mecânica, desalinhamento, desbalanceamento, engrenagens defeituosas e falhas em rolamentos. A análise dessa vibração é uma técnica que tem como objetivo identificar as possíveis falhas nos componentes de um equipamento rotativo (TELES, 2017).

As vibrações podem ser classificadas como forçada ou de regime permanente e amortecida. A forçada ou de regime permanente ocorre quando uma força persistente atua o tempo todo em um sistema de forma contínua, ou seja, quando a massa do sistema estrutural é deslocada de sua posição de equilíbrio. A vibração amortecida é a que realmente acontece na prática, uma vez que se utilizam amortecedores para compensar e amortizar amplitudes das vibrações causadas pelos equipamentos técnicos (QUESADA, 2019).

Na prática, é quase impossível evitar certas vibrações, uma vez que geralmente essas ocorrem devido a efeitos dinâmicos de tolerância de fabricação, contatos, folgas, atrito entre peças de uma máquina e forças desequilibradas de componentes rotativos e de movimentos alternados. É comum que essas pequenas vibrações “normais” se transfiram para outras peças que estão em contatos na mesma estrutura, transformando em ruídos indesejados. Entretanto, essas vibrações podem ser úteis e provocadas de forma intencional de forma controlada em componentes ou peças de uma determinada linha de produção, compactadores de concretos, batedores, bate-estacas, entre outras aplicações (QUESADA, 2019).

1.1.1 Métodos de análise das vibrações

Há dois métodos principais de análise das vibrações, nos domínios do tempo e da frequência, pois ambos observam o mesmo sinal dinâmico de duas formas diferentes. O domínio de tempo identifica o sinal da oscilação da onda enquanto o de frequência, as ocorrências de curta duração (GALLI, 2017).

O domínio do tempo mostra os detalhes das ondas (amplitudes e ciclos) das vibrações que não são visíveis no domínio da frequência. Tem como principal aplicação, identificar ocorrências de curta duração, como impactos, e determinar o quanto esses eventos se repetem (GALLI, 2017).

O domínio da frequência é denominado forma espectral ou simplesmente espectro da vibração. Esse método utiliza os cálculos da transformada rápida de Fourier (FTT – do inglês, *Fast Fourier Transform*). Uma FTT é a transformação de dados do domínio do tempo para o da frequência, realizada por um microprocessador (GALLI, 2017).

Os sinais das vibrações são traduzidos de uma forma de energia para outra ou uma grandeza física em outra. Em outras palavras, traduz as grandezas mecânicas (obtida no equipamento) em elétricas; estas podem ser medidas e analisadas pelos transdutores de vibração (CYRINO, 2017).

Os transdutores de deslocamento são sensíveis a um movimento relativo, como a distância entre um eixo vibrando e um sensor fixo em um mancal. O funcionamento é baseado na eletrodinâmica (ramo da física que estuda o movimento das cargas elétricas ou na variação da capacitância). As principais vantagens desse tipo de transdutor são que operam em baixíssimas frequências, não apresentam partes móveis, evitando assim desgastes, além de não estarem em contato com a superfície em análise. No entanto, apresentam algumas desvantagens, tais como, limitações nas variações das propriedades magnéticas e elétricas devido às superfícies geométricas analisadas. Deste modo, a faixa de frequência também se torna limitada devido ao fato de os deslocamentos serem pequenos a uma frequência elevada (CYRINO, 2017).

Os transdutores de velocidade ou acelerômetros consistem geralmente de bobinas suspensas em molas que se

deslocam por meio de uma vibração através de um campo homogêneo de um ímã permanente. Esse sensor mede a velocidade da vibração em um ponto onde é fixado em relação a um ponto definido no espaço, sendo que sua resposta é proporcional à aceleração (CYRINO, 2017).

Os acelerômetros representam um desenvolvimento muito grande no campo das medidas e na análise de vibração. Os piezoelétricos são os mais utilizados, pois transforma aceleração do movimento vibratório em um sinal elétrico proporcional para finalidade de medição, monitoramento e controle (PRADA, 2009).

As vibrações naturais dos equipamentos devem ser monitoradas frequentemente para se evitar as falhas oriundas do uso contínuo por meio de manutenções preditivas constantes.

1.2 Eventuais falhas em máquinas elétricas

As falhas nos motores elétricos podem ser mecânicas e elétricas. As falhas mecânicas podem ser provocadas por fatores internos (rolamentos presentes no motor) ou externos (geralmente relacionados com a fixação do motor na base) (LINESSIO, 2016). As falhas elétricas estão relacionadas à alteração da força de atração entre rotor e estator, ocasionadas também pela excentricidade do rotor (MARCOS, 2018).

1.2.1 Falhas mecânicas

As principais causas das falhas nos rolamentos são devido a desalinhamento, sobrecarga e montagem incorreta. Existem desgastes por lubrificação inadequada, vibração, penetração de umidade e descarga de corrente elétrica. Os desgastes relacionados à lubrificação podem ocorrer pelo excesso ou falta de lubrificação. O excesso ocasiona má vedação e subsequente saída dos lubrificantes e entrada de contaminantes abrasivos; a falta de lubrificação leva ao

aumento de temperatura, uma vez que não há a película protetora entre as partes móveis do rolamento e aumento do atrito entre as partes. Essas falhas levam ao aumento de vibrações e consequente desgastes (SPAMER, 2009).

A fundação da base é um elemento estrutural que tem como objetivo suportar os esforços que os equipamentos produzem, logo deve permitir que os equipamentos operem com grande estabilidade, bom desempenho e segurança. A fixação inadequada faz com que as frequências de vibração natural do motor se elevem e ultrapassem os níveis máximos permitidos (LINESSIO, 2016).

Os rotores dos motores não são exatamente concêntricos em relação aos estatores, essas pequenas variações de excentricidade dentro dos limites de operação são toleráveis, entretanto quando essas excentricidades excedem os limites é altamente prejudicial aos motores, isso acarreta também no aumento de temperatura nos elementos, principalmente nos rolamentos (MARCOS, 2018).

1.2.2 Falhas elétricas

Normalmente, as falhas no rotor e no estator estão relacionadas aos problemas térmicos, elétricos e do ambiente onde se encontra o motor. Todos esses fatores afetam de forma direta e agressiva o isolamento do enrolamento, o que pode ocasionar fuga entre fases ou entre fase e terra, o que gera desbalanceamento de campo magnético na região afetada. O aumento de temperatura é muito prejudicial, uma vez que o aumento de 10 °C reduz pela metade o isolamento, já o fator elétrico está relacionado à qualidade do material usado no isolamento, uma vez que este deve suportar variações de correntes (MARCOS, 2018).

Em um motor de indução trifásico, as falhas mecânicas (40-50%) estão relacionadas a problemas nos rolamentos, enquanto as elétricas ocorrem no estator

(30-40%) e no desalinhamento do rotor (5-10%) (LINESSIO, ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM MOTORES ELÉTRICOS UTILIZANDO UM ACELERÔMETRO ÓPTICO BIAIXIAL, 2016).

1.4 Manutenção preditiva nas máquinas elétricas

A manutenção preditiva consiste em métodos de análises de temperatura, emissão acústica, contaminação dos lubrificantes e vibrações dos equipamentos em uso. Esses métodos permitem acompanhar a evolução das falhas, e assim possibilitar intervenções necessárias para se evitar a parada da máquina devido a quaisquer tipos de ocorrências adversas (CYRINO, 2017).

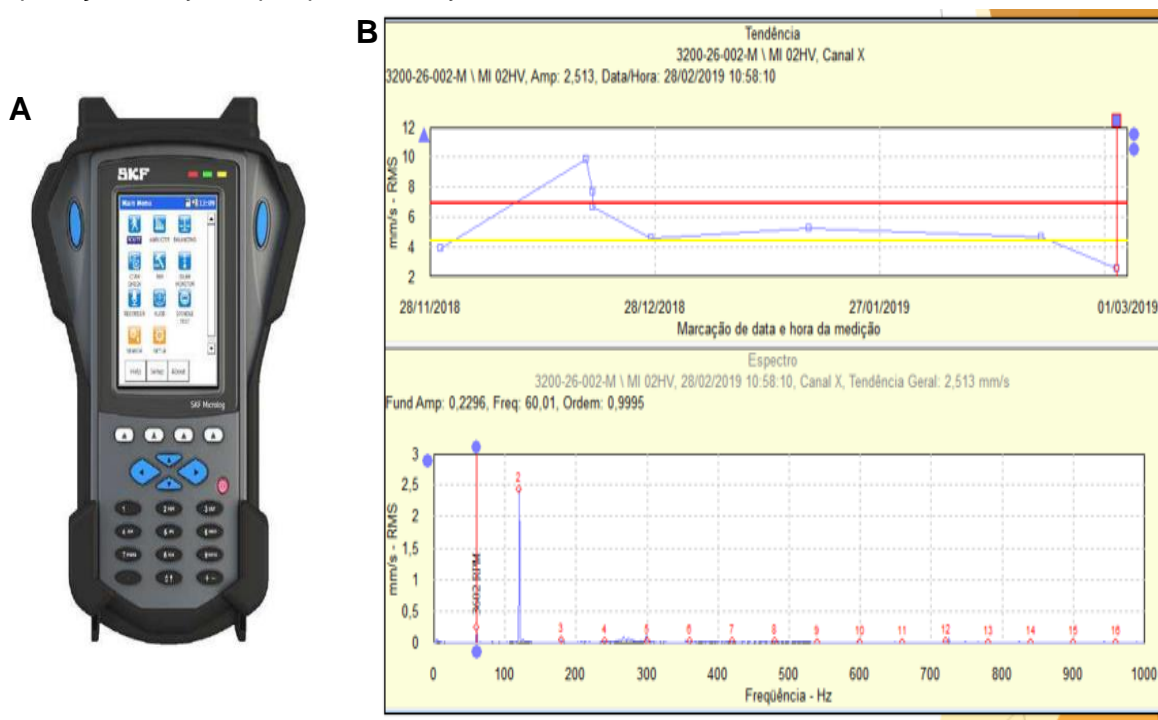
A análise e acompanhamento dos níveis de vibração em máquinas elétricas é uma das técnicas que identificam falhas de maneira preditiva. As ordens de grandezas físicas analisadas na análise da vibração são velocidades,

aceleração e deslocamento. O parâmetro de velocidade (mm/s) indica o quão rápido o sistema está se movendo, a aceleração (m/s^2), a variação da velocidade em um determinado tempo e o deslocamento (μm), o quanto um sistema desvia da sua posição de equilíbrio. As vibrações podem ser medidas a qualquer momento e seus resultados de amplitude podem ser comparados com momentos anteriores, e assim facilitar na definição do momento ideal a intervir (GALLI, 2017).

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é demonstrar a importância da manutenção preditiva em uma área industrial por meio de análise de vibração em motores elétricos para que haja aumento da disponibilidade do equipamento e diminuição dos custos devido a quebras inesperadas e subseqüentes perdas de produções.

Figura 2. Material necessário para a coleta e análise dos dados. A. Coletor GX-75 SKF – apresenta uma gama de funções que facilitam a aplicabilidade na área, de fácil entendimento e interpretação B Layout dp @ptitude Analyst SKF.



Fonte: Elaborado pelos autores A. fotografia. B. Captura de tela.

3 MATERIAL E MÉTODOS

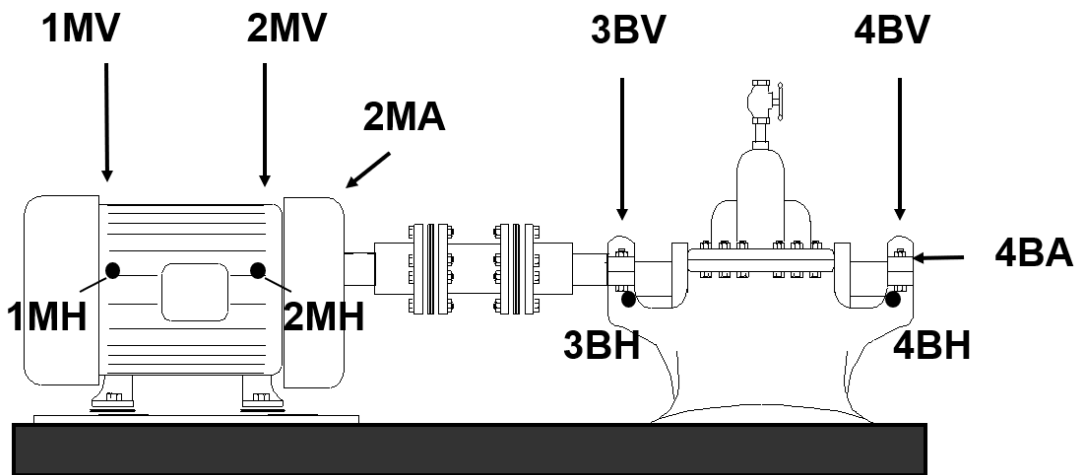
Para a realização da análise de vibração, há necessidade de se coletar os dados na área de trabalho.

A coleta de dados foi realizada com a utilização do coletor de vibração [modelo GX-75 SKF (Figura 2A)], o de mais alta tecnologia no mercado nacional. Os dados obtidos foram descarregados no software @ptitude Analyst SKF para posterior análise dos espectros de vibração (layout – Figura 2B).

3.1 Pontos de medição

A identificação dos pontos de medição é importante e deve ser o primeiro passo a ser realizado em uma análise de vibração. Deve-se levar em consideração as direções das vibrações (horizontal, vertical e axial) e os pontos de localização dos rolamentos. Logo, há cinco pontos no motor, sendo três estão localizados no lado acionado (horizontal, vertical e axial) e dois no lado oposto ao acionamento (vertical e horizontal) (PACHECO, 2021, Figura 3).

Figura 3. Pontos de medição de vibração do motor.



Fonte: Extraído de Pacheco, 2021.

3.2 Coleta de vibração

As coletas na área foram realizadas conforme os planos de manutenção dos equipamentos. Neste, decide-se a periodicidade que depende do grau de criticidade do equipamento e a evolução de possíveis falhas. Isto pode ser monitorado e identificado caso as vibrações estejam com amplitudes maiores do que as permitidas. Neste caso, há necessidade de diminuir o período entre as coletas.

As coletas realizadas neste trabalho identificaram valores de vibração excedentes ao que se julga normal para um determinado equipamento nos fatores desbalanceamento, desalinhamento e folgas mecânicas. Estes problemas foram sanados, conforme mostra os resultados abaixo.

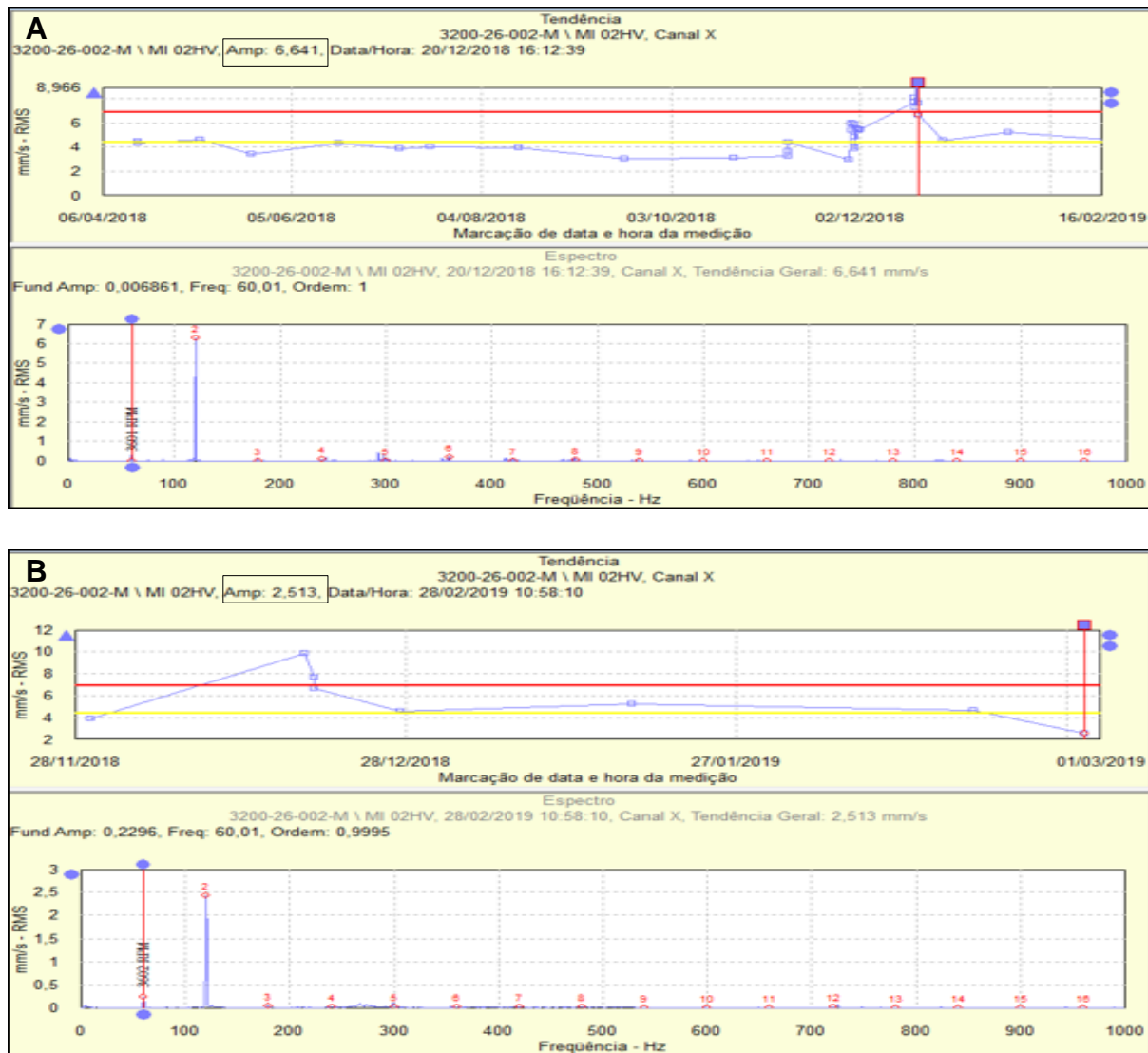
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados foram coletados de um motor de indução trifásico (MIT) de uma fábrica de papel e celulose localizada em uma cidade do interior de Mato Grosso do Sul.

4.1 Alinhamento

O desalinhamento é a causa mais comum de vibração em motores elétricos por ser oriundo de vários pequenos problemas. Identificou-se desalinhamento do conjunto de motor-bomba no referido MIT. Inicialmente, verificou-se a $V_a = 6,24$ mm/s (Figura 4A) e logo depois da realização do alinhamento, o valor diminuiu para $V_d = 2,4$ mm/s (Figura 4B).

Figura 4. Velocidades do rotor antes e depois da manutenção preditiva de desalinhamento. A. Medições antes da manutenção ($V_a = 6,641$ mm/s). B. Medições depois da manutenção ($V_d = 2,513$ mm/s). Os valores das velocidades encontram-se destacados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Balanceamento

Na maioria dos casos de desbalanceamento ocorre em rotores de ventiladores uma vez que o processo desprende partículas que distribuem não uniformemente sobre os mesmos. A Figura 5 apresenta os dados da coleta onde se detectou o desbalanceamento antes (Figura 5A) e depois (Figura 5B) a manutenção. A comparação dos resultados mostra que ocorre diminuição da velocidade, de $V_a = 6,267$ mm/s (V_a – velocidade antes da manutenção) para $V_d = 0,907$ mm/s (V_d – velocidade depois da manutenção).

4.3 Folgas mecânicas

Normalmente, as folgas mecânicas são causadas por problemas mecânicos, como pé manco do motor, quando há diferença de altura entre um pé e outro. Isto pode ser causada por má fixação dos parafusos da base, como mostra a Figura 6. O valor antes da manutenção foi $V_a = 1,177$ mm/s (Figura 6A) e depois do reaperto do parafuso e depois diminuiu para $V_d = 0,133$ mm/s (Figura 6B).

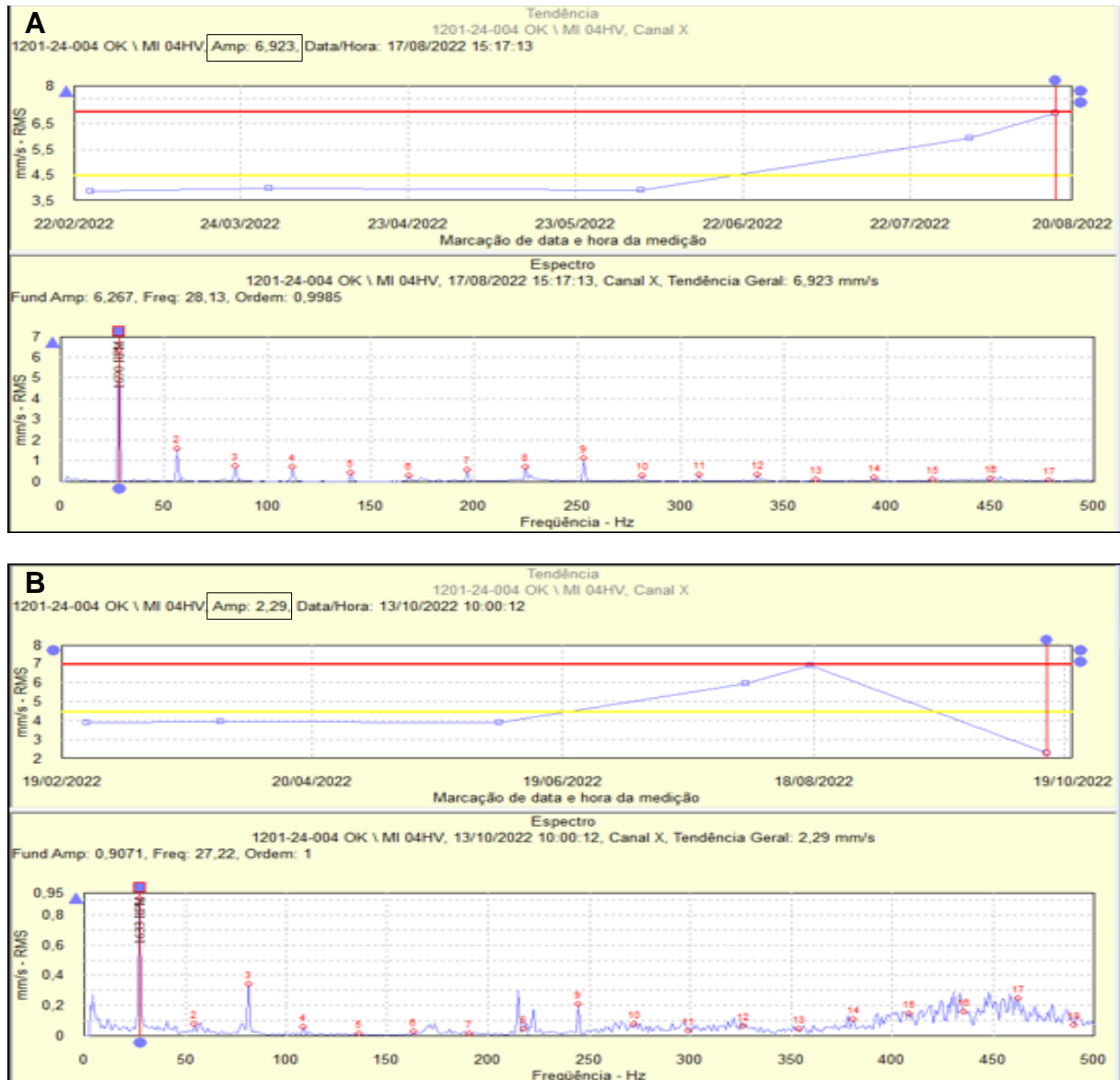
5 CONCLUSÕES

A análise de vibração nos motores

elétricos visa o aumento da sua vida útil pela melhoria do processo e maior confiabilidade dos equipamentos inseridos no contexto de uma indústria, uma vez que a mesma possibilita identificar e acompanhar os problemas, e caso necessário,

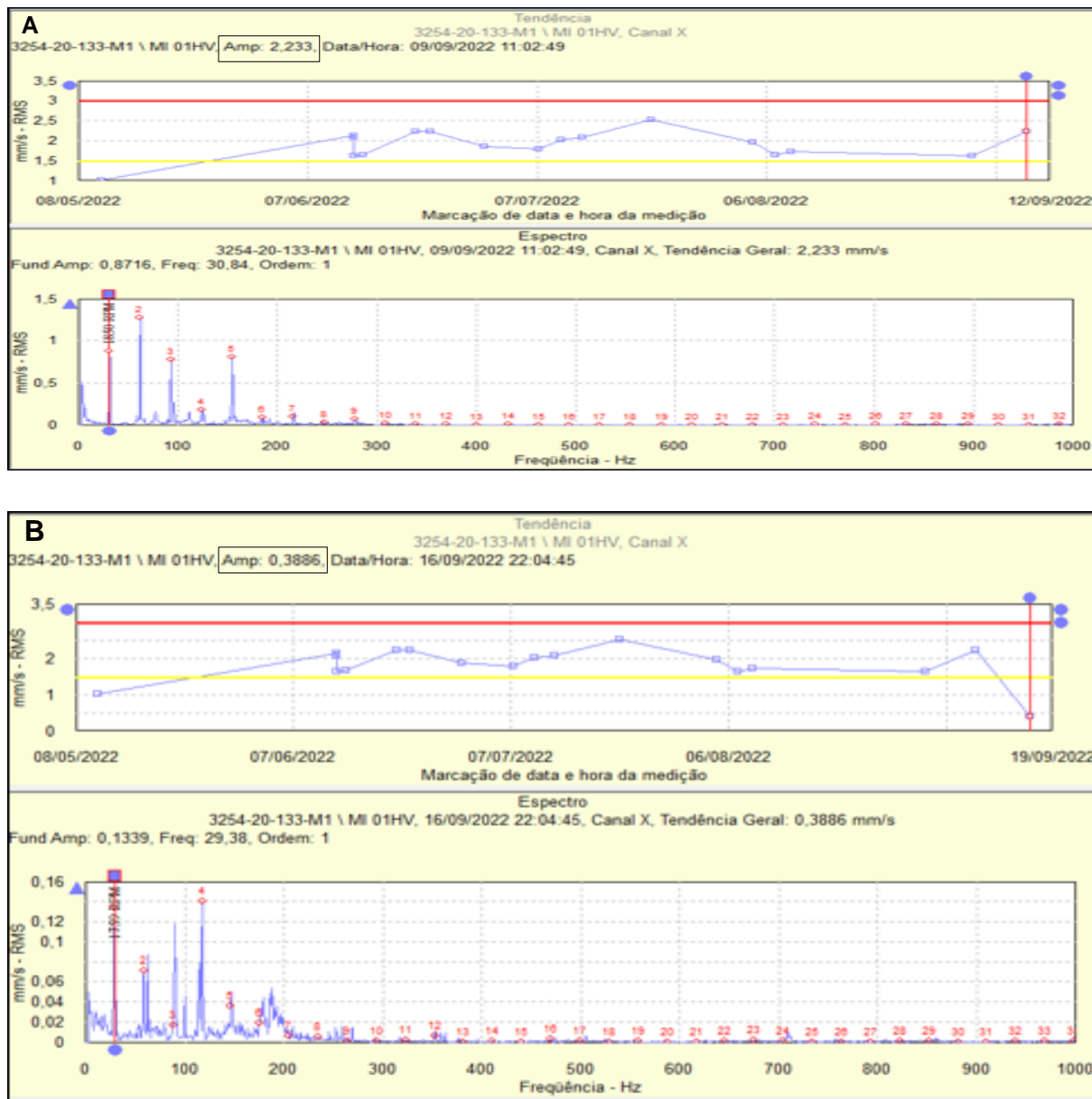
intervir para a solução. Deste modo, evita-se a manutenção corretiva por uma quebra inesperada e realiza-se a substituição dos componentes somente quando realmente necessária.

Figura 5. Velocidades do rotor antes e depois da manutenção preditiva de desbalanceamento. A. Medições antes da manutenção ($V_a = 6,923$ mm/s). B. Medições depois da manutenção ($V_d = 2,29$ mm/s). Os valores das velocidades encontram-se destacados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6. Velocidades do rotor antes e depois da manutenção preditiva de folgas mecânicas. A. Medições antes da manutenção ($V_a = 2,233$ mm/s). B. Medições depois da manutenção ($V_d = 0,3886$ mm/s). Os valores das velocidades encontram-se destacados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

REFERÊNCIAS

ABECOM. Análise de vibração: Método importante na manutenção preditiva (abecom.com.br). Extraído de: <<https://www.abecom.com.br/analise-de-vibracao/>>. Acessado em: 11 abr. 2022.

CISMASIU, C. Apontamento de vibrações mecânicas, v.1, p.54, 2009. Acessado em: 1 Jun. 2022.

QUESADA, R. C. Controle de vibrações. 1ª ed., Editora e distribuidora educacional S.A., 234 p., 2019. Extraído de: <https://www.academia.edu/40514787/Controle_de_Vibrações/>. Acessado em: 18 maio 2022.

CYRINO, L. Transdutores de captação das vibrações. 22 de maio de 2017. Extraído de: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/>>

r/transdutores-de-captacao-das-vibracoes/>. Acessado em 18 Mai.2022.

GALLI, V. B. Manutenção preditiva por análise de vibração mecânica em máquinas rotativas. Guaratingueta, Sao Paulo, s.n., 2017. Extraído de: <<https://traction.com/blog/vibracao-a-chave-para-a-manutencao-preditiva/>>. Acessado em: 20 abr.2022.

LINNESSIO, R. P. Análise de vibrações em motores elétricos utilizando um acelerometro óptico biaxial. Curitiba, Parana, s.n., 2016. Extraído de: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17093/2/CT_CEAUT_2015_14.pdf/>. Acessado em: 6 jun.2022.

MARCOS. Conheça as causas de falhas em motores elétricos. *Vib Master*. 11 de Julho de 2018. Extraído de: <<https://www.vibmaster.com.br/falhas-em-motores-eletricos/>>. Acessado em: 7 jun. 2022.

MATTEDE, H. Motor trifasico. como funciona a sua aplicação? 2018. Extraído de: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/m>

otor-trifasico-como-funciona-e-qual-sua-aplicacao/>. Acessado em: 14 jun. 2022.

PRADA, R. O que é um acelerômetro? (Tecmundo.com) 26 de Agosto de 2009. Extraído de: <<https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/2652-o-que-e-um-acelerometro-.htm/>>. Acessado em: 14 jun. 2022.

SANTOS, M. A. da S. Eletricidade: acionamento de motores elétricos. (Brasil escola.com) 19 de JUNHO de 2022. Extraído de: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.ht/>>. Acessado em: 30 maio 2022

SPAMER, F. R. Tecnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas. v. 1. p. 254, ago. 2009.

TELES, J. Manutenção preditiva: O que é e como pode te ajudar. Curitiba, Paraná, s.n., 4 de abril de 2017. Extraído de: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/157012/000906450.pdf/>>. Acessado em: 14 jun. 2022.